第 43 卷 第 2 期
2023 年 4 月

桂林电子科技大学学报
Journal of Guilin University of Electronic Technology

Vol. 43, No. 2
Apr. 2023

基于 ACO 算法在可重构扫描网络中搜索最优测试链路的应用

许益镇[1]，马 峻[1,2]，曾 轲[1]

（1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院，广西 桂林 541004；
2. 桂林电子科技大学 广西自动检测技术与仪器重点实验室，广西 桂林 541004）

摘 要：为了实现在可重构扫描网络中求解对嵌入式仪器测试时的最优测试链路问题，提出了一种基于 ACO 算法的必测点约束最优测试链路求解方法。首先，将扫描网络中的整体元素抽象为计算机可以识别的节点网络结构。其次，针对网络中的环路问题，提出“活性”禁忌表，在搜索到必测的节点时释放禁忌表中的节点数据，使得被搜索过的节点能再次被搜索。最后，为了能够更好地搜索最优测试链路，引入信息素系数变化因子，将信息素的更新与网络规模结合，以减小信息素更新幅度，避免搜索后期信息素浓度过度增强导致陷入局部最优。此外，在链路搜索过程中采用自适应的信息素挥发系数，保证算法的收敛速率，提高全局搜索能力。仿真实验结果表明，该算法可以有效地实现可重构扫描网络中必测点最优测试链路的求解，与传统 ACO 算法相比，该算法的搜索效率更高，具有一定的实用性和适用性。

关键词：可重构扫描网络；信息素；ACO 算法；环路；必测点最优测试链路

中图分类号：TP18　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-808X(2023)02-0145-07

Application of ACO algorithm for searching optimal test link in reconfigurable scanning networks

XU Yizhen[1], MA Jun[1,2], ZENG Ke[1]

(1. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;
2. Guangxi Key Laboratory of Automatic Detecting Technology and Instruments,
Guilin University of Electronic Technology, Guilin, 541004, China)

Abstract: In order to solve the optimal test link problem when testing embedded instruments in reconfigurable scanning network, a method based on ACO algorithm is proposed. Firstly, the overall elements in the scanning network are abstracted into a node network structure that can be recognized by the computer. Secondly, aiming at the loop problem in the network, an "active" tabu table is proposed to release the node data in the tabu table when the designated-test-point is searched, so that the searched nodes can be searched again. Finally, in order to make the optimal test link better searched, the pheromone coefficient change factor is introduced to combine the pheromone update with the network scale to reduce the pheromone update range, so as to avoid falling into local optimization due to excessive enhancement of pheromone concentration in the later stage of search. Meanwhile, the adaptive pheromone volatilization coefficient is adopted to ensure the convergence rate of the algorithm and improve the global search ability. The simulation results show that the algorithm can effectively solve the optimal test link of the designated-test-point s in the reconfigurable scanning network. And compared with the basic ACO algorithm, it has higher search efficiency, practicability and applicability.

Key words: reconfigurable scanning networks; pheromone; ACO algorithm; ring road; optimal test link of designated-test-points

收稿日期：2022-04-07
基金项目：广西自然科学基金(2015GXNSFDA139003)
通信作者：马峻(1977—)，男，教授，博士，研究方向为信号处理、机器视觉、图像处理、神经网络、光电测试。E-mail:majun@guet.edu.cn
引文格式：许益镇，马峻，曾轲. 基于 ACO 算法在可重构扫描网络中搜索最优测试链路的应用[J]. 桂林电子科技大学学报，2023，43(2)：145-151.

集成电路产业飞速发展，SoC 的设计正在变得日益复杂，芯片上集成了大量不同功能的嵌入式仪器。为了解决对嵌入式仪器测试时的访问难题，保证芯片测试接口的通用性和复用性，IEEE 1687 测试标准采用可重构扫描网络（reconfigurable scanning networks，简称 RSNs）结构实现对复杂芯片系统嵌入式仪器的访问与测试[1]，在扫描网络中，测试链路选择是否优越极大地影响测试效率，如何选择最优测试链路就显得尤为重要。

最优测试链路选择是指在对芯片上的嵌入式仪器进行访问操作时，在可获得实际的扫描网络中，根据仪器间的连接关系网络更快地实现对仪器的测试而做出的链路选择。对仪器进行测试时，数据的输入输出口是固定的，将被测试的仪器抽象为必测点，那么最优测试链路问题实际为必测点最优测试链路问题，也可看作是必经点最优路径问题。Dijkstra 算法是经典的路径算法，对于解决最优路径问题有显著效果[2]。黄书力等[3]采用 Dijkstra 算法和贪心理论将复杂的问题分解成几个子问题来解决，将网络中的节点分为源节点、必经节点和目的节点 3 个子集，由局部最优解最终推导全局最优解，实现对经过指定中间节点集的最优路径问题求解；但是，该算法只能应用于无向无环网络图中。王小会等[4]为解决交通诱导问题，反复迭代基本 Dijkstra 算法，实现在路网结构中对 K 个必经点最优路径的寻找，以满足用户的出行需要；但该算法搜索最优路径时耗大，内存占用大，不适用大规模的网络。康文雄等[5]设计多层 Dijkstra 算法，通过分层回溯结构寻找局部最优解来快速求得全局最优解或次优解，出解速度快；但是采取回溯的方法将会增加路径搜索时间消耗，而且搜索到的路径可能并非是最优的路径。

由于在扫描网络中仪器的顺序性和特殊性，网络内部测试链路会有环路的存在，同时，对芯片上仪器的访问具有顺序性，因此必测点最优测试链路为有向带环路的链路。采用 Dijkstra 算法求解必测点最优有向带环链路时存在搜索效率差、灵活性低、时间复杂度高等不足。近年来，随着人工智能技术研究的越发深入，群智能算法在路径规划问题中得到广泛应用，群智能算法在解决必测点最优测试链路问题时具有更好的效果。ACO 算法作为一种群智能算法，具有良好的并行性、鲁棒性、正反馈性、收敛速度快等特点，在链路优化问题上得到了广泛运用[6-7]。因为待测试的嵌入式仪器数目已经确定，且一般数目不多，所以可以将 ACO 算法引入最优测试链路搜索中，以提高搜索效率和精度[8]；但基本 ACO 算法存在求解链路问题时容易陷入局部最优、无法求解带环的链路问题等不足。为此，提出了一种基于 ACO 算法的最优测试链路优化算法，针对 RSNs 中链路特点对 ACO 进行相应地设计，能够适用于 RSNs 中求解含有必测仪器约束的最优测试链路问题，最后通过 RSNs 结构进行实验验证。

1　可重构扫描网络测试链路问题

1.1　可重构扫描网络拓扑图形

在一个芯片中可能包含了数千个嵌入式仪器，RSNs 专注于芯片上仪器的访问和互连，将仪器从测试访问设施中抽象出来，可以直接对其进行操作[9]。芯片内的仪器可以通过测试数据寄存器（test data register，简称 TDR）进行包装访问，并且为了满足日渐复杂的嵌入式仪器测试功能，实现对仪器的动态测试，RSNs 引入嵌入式段插入位（segment insert bit，简称 SIB）结构，所有的 SIB 和 TDR 通过一定的组合连接在一起组成一条测试链路。如图 1 所示为 RSNs 结构示例。

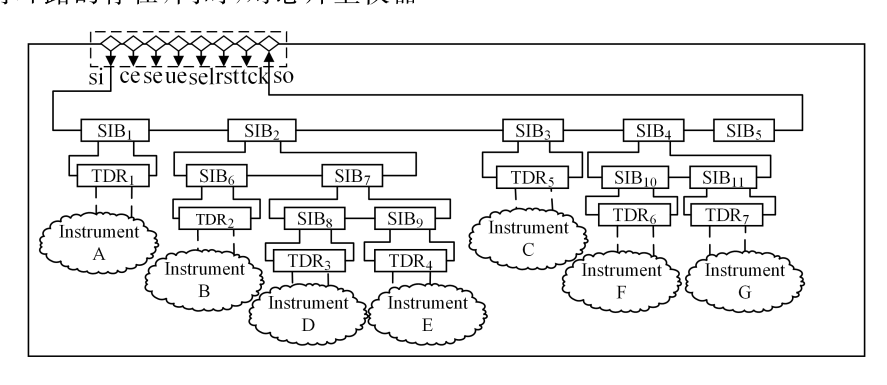


图 1　RSNs 结构示例

图 1 所示的 RSNs 结构中，第一层为主链结构，可以根据设计需要对主链上的 SIB 结构挂载另一个

SIB 结构或者 TDR 结构，同理在次链上 SIB 也可以挂载 SIB 结构或者 TDR 结构，实现对嵌入式仪器测试的链路更多动态多样化。为了能够对 RSNs 测试链路进行分析，需要将网络转换成计算机能够识别的形式。一般来说，网络的拓扑结构不依赖于节点的具体位置和边的具体形态[10]。通过对 RSNs 结构分析可知，整个 RSNs 可以抽象成节点和链路，将嵌入式仪器抽象为网络的节点，仪器间的连接链路抽象为网络的边。在对仪器进行测试的过程中，数据流通过测试链路实现对仪器访问操作具有顺序性，为了保证节点间链路的方向与扫描网络中测试链路上的数据流向保持一致，对边赋予方向。此外，网络中每个 TDR 的长度不一，造成访问时间不同，为了更加形象地表示 RSNs 结构特点，赋予边相应的权重，权重选择为 TDR 长度。RSNs 抽象的网络结构如图 2 所示。

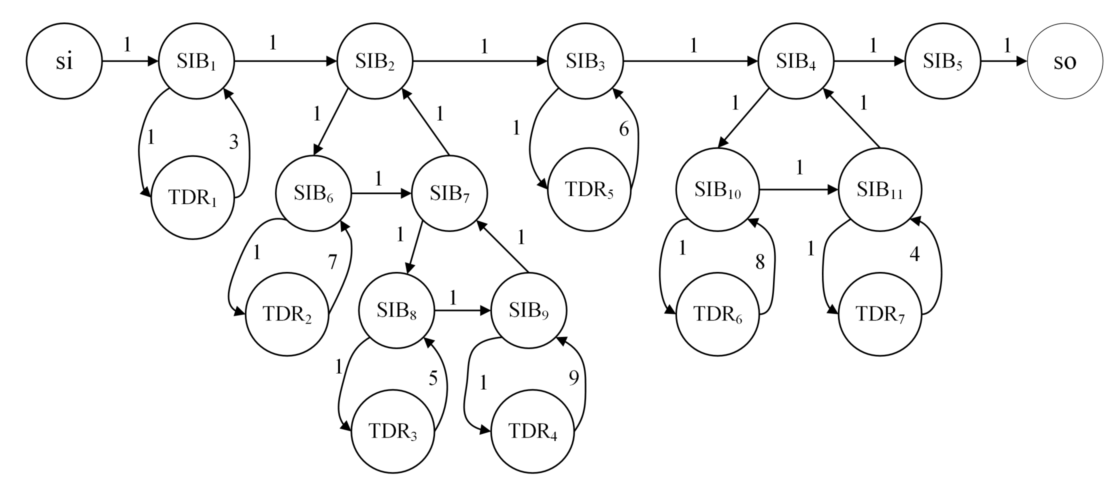


图 2　RSNs 抽象的网络结构

1.2　必测点最优测试链路描述

在 RSNs 中，两仪器之间的距离并不是单纯指两点之间的直线距离，在两仪器之间一般存在许多条测试链路。求解必测点最优测试链路是指在 RSNs 中求解从测试入口到被测试仪器集，再到测试出口的一条最优测试链路。RSNs 中仪器间的连接链路错综复杂，求解最优测试链路需要解决 2 个关键性问题：

1）RSNs 结构的特殊性，网络中存在环路，如何解决环路的求解。

2）根据实际需要，待测仪器为必测点，采用高效链路搜索算法搜索必测点最优测试链路。

在 RSNs 中的必测点最优链路的求解过程中，最优链路搜索算法最为关键，传统算法计算复杂度高、效率低，而且无法便利地解决必测点约束的带环路最优链路问题。ACO 算法是由 Dorigo 等[11-12]提出的一种启发式优化算法，通过模拟蚂蚁的群体觅食行为进行链路优化。它是一种在图中寻找最优链路的几率型算法，算法中每只蚂蚁作为独立个体用于构建链路，蚂蚁间通过释放的信息素来进行信息交换，不断优化最优解[13]。通过蚂蚁之间的相互协作和信息交流可以找到最优测试链路，算法得到的结果与链路节点相关联，对结果序列的限制可以有效解决必测点带环最优测试链路问题，它们之间的映射关系如表 1 所示。

表 1　蚁群觅食与必测点最优测试链路的映射关系

蚂蚁觅食	必测点最优测试链路
蚁巢	测试数据输入口
食物	测试数据输出口
必经岔路口	待测仪器
最短觅食路径	必测点最优测试链路

2　RSNs 必测点最优测试链路生成算法

2.1　基本 ACO 算法

ACO 算法是为模拟蚁群觅食过程中寻找最优路径的相关机制和行为而建立的[14]。蚂蚁在觅食过程中会感知环境中信息素浓度并朝着信息素浓度高的方向移动，同时在移动过程中释放信息素，增强经过路径的信息素浓度。蚂蚁搜索最短觅食路径示意图如图 3 所示，蚂蚁在搜索食物过程中，碰到一个未经过的路口时就随机选取一条路径继续前进，并释放信息素，后面来的蚂蚁根据路径上的信息素进行路径选择，当一条路径上经过的蚂蚁数量多的时候，信息素浓度就大，蚂蚁选择该路径的概率就大。同时，蚂蚁

释放的信息素会随着时间慢慢挥发，导致经过蚂蚁数量少的路径上信息素浓度小，蚂蚁选择该路径的概率就小。在两者共同作用下，蚁群最终会搜索到一条最优觅食路径[15]。

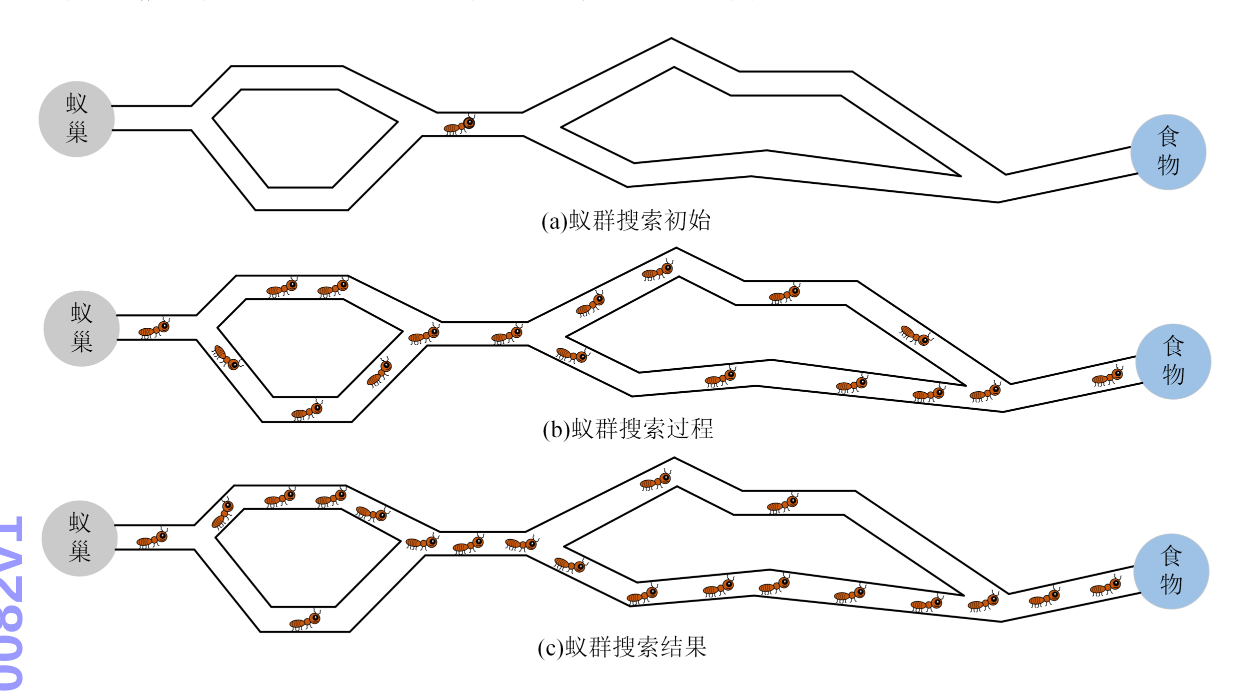


图 3 蚂蚁搜索最优觅食路径示意图

ACO 算法本质上是一种随机搜索算法[16]，算法的核心思想是蚂蚁群体自催化行为，其关键点是信息素更新以及蚂蚁在不同时刻的状态转移[17]。基本 ACO 算法描述如下：

给定 n 节点的链路有向图，m 为蚂蚁个数，用变量 $d_{ij}(i,j=1,2,\cdots,n)$ 表示节点 i 与节点 j 之间的距离。蚂蚁 k 在运动过程中，根据各条链路上信息素浓度决定其转移方向。根据蚂蚁搜索链路的机制，在搜索过程中，蚂蚁根据每条链路上信息素以及启发信息来计算状态转移概率。蚂蚁的状态转移公式为

$$p_{ij}^{k}(t)=\begin{cases}\dfrac{\tau_{ij}^{\alpha}(t)\eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum\limits_{u\in C_k^i}\tau_{iu}^{\alpha}(t)\eta_{iu}^{\beta}(t)}, & j\in C_k^i;\\ 0, & j\notin C_k^i。\end{cases}\quad(1)$$

其中：$p_{ij}^{k}(t)$ 表示 t 次迭代时第 k 只蚂蚁从节点 i 转移到节点 j 的概率；$\tau_{ij}(t)$ 表示在第 t 次迭代时节点 i 与节点 j 之间链路上的信息素浓度强度；$\eta_{ij}(t)$ 表示在第 t 次迭代时节点 i 与节点 j 的能见度，一般情况下，$\eta_{ij}(t)=1/d_{ij}$；α 为信息素启发因子；β 为期望启发因子；C_k^i 表示未被访问的节点集合，即蚂蚁 k 继续行走时允许选择的目标节点。一般地，在 ACO 算法中将会设置禁忌表 R_k 来记录蚂蚁 k 已走过的节点集合，记所有节点集合为 A，那么 $C_k^i=\{A-R_k\}$。

为了防止残留信息素过多将链路的启发信息淹没，需要在一定规则时间内对链路上的信息素浓度进行更新处理。信息素的更新由信息素随着时间的推移逐渐挥发与每只蚂蚁路过链路的时候释放的信息素共同决定，刚开始时，每条链路上的信息素浓度一样，设 $\tau_{ij}(0)=C$，C 为常数。蚂蚁完成一次循环遍历，此时链路上信息素进行更新：

$$\tau_{ij}(t)\leftarrow(1-\rho)\tau_{ij}(t)+\rho\Delta\tau_{ij}(t),\quad(2)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t)=\sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij}^{k}(t)。\quad(3)$$

式中：ρ 表示信息素挥发系数，$1-\rho$ 则为信息素残留因子；$\Delta\tau_{ij}(t)$ 表示节点 i 与节点 j 之间链路上的信息素浓度增量；$\Delta\tau_{ij}^{k}(t)$ 表示第 k 只蚂蚁从节点 i 转移到节点 j 时在链路上释放的信息素。释放的信息素可表示为：

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t)=\begin{cases}\dfrac{Q}{L_k}, & \text{蚂蚁 } k \text{ 经过边}(i,j);\\ 0, & \text{否则。}\end{cases}\quad(4)$$

其中：Q 表示信息素强度系数；L_k 表示蚂蚁走完一条完整的链路后的长度。

基本的 ACO 算法采用正反馈机制进行链路寻优，具有全局搜索的优点，但是，该算法搜索容易陷入局部最优解以及收敛速度慢等不足[17-19]。为了克服基本 ACO 算法的缺陷，根据实际应用问题进行相应地设计，满足 RSNs 结构下的必测点最优测试链路问题的求解，并提高最优测试链路的搜索效率。

2.2　算法设计策略

对 RSNs 必测点最优测试链路生成实现问题可以归结为必测点带环最优测试链路问题。传统 ACO 算法中，链路上的信息素浓度受经过该链路的蚂蚁数目以及信息素挥发系数的影响，算法对信息素浓度更新不能准确反应链路的信息，容易陷入局部最优，甚至出现搜索停滞现象[20-21]。同时，利用传统 ACO 算法求解最优测试链路问题时，由节点选择策略选择下一节点时要求每个蚂蚁对节点最多只能允许访问一次，不满足带环链路的搜索。为了使 ACO 算法能够解决 RSNs 最优测试链路生成问题，需要对传统 ACO 算法的不足进行优化，设计改进 ACO 算法以实现必测点带环最优测试链路的求解。

2.2.1　带环必测点链路搜索

RSNs 必测点最优测试链路生成是针对不同嵌入式仪器的访问测试操作需求，在扫描网络中生成实现访问测试嵌入式仪器目标时所需的所有嵌入式仪器顺序序列。在实际网络中，仪器间的联系具有明确的方向性，测试链路选择的过程必须严格遵循有向原则。因而实现测试链路搜索的思路是：利用蚁群搜索的全局优化，设定搜索的必测点与顺序，对 RSNs 进行全局搜索。同时，考虑到 RSNs 内部特殊仪器环路特性，设立"活性"禁忌表，搜索过程中判断当前节点是否是必测节点，若经过必测节点则放开禁忌表，使仪器可以再次被选择，以此类推，实现对 RSNs 最优测试链路的搜索。

2.2.2　信息素调节

在蚂蚁搜索过程中，信息素的挥发会使得测试链路上的信息素浓度减弱，蚂蚁释放的信息素则会增强测试链路上的信息素浓度。若信息素挥发过快，可能会导致有效的最优测试链路被放弃搜索，影响最优值的搜索；若信息素浓度增强过快，会使得测试链路上残留信息素过多，某些较短测试链路的信息素过分增加，无效的测试链路继续被搜索，导致陷入局部最优[22-23]。设信息素浓度的更新幅度为 $\delta_{ij}(t)$，从信息素更新规则中可求得：

$$\delta_{ij}(t)=\rho\left(\frac{\Delta\tau_{ij}(t)}{\tau_{ij}(t)}-1\right)。\tag{5}$$

由此可见，测试链路信息素浓度更新幅度与链路信息素浓度、蚂蚁产生的信息素以及信息素挥发系数三者密切相关。但是，若对搜索的测试链路给与相同的信息素更新，则会干扰后续蚂蚁的链路寻优，容易引起测试链路上信息素浓度过高，出现算法早熟情况。因此，进行信息素的调节十分关键，可以通过改变信息素挥发系数减少信息素更新幅度。为此，引入信息素系数变化因子 σ：

$$\sigma=1-\frac{1}{p+1}。\tag{6}$$

其中，p 为未被访问的节点数。σ 随着 p 值的减小而减小，表明随着搜索的进行，未被访问的节点数减少，信息素变化因子 σ 相应减小，信息素更新幅度减小，并且在搜索到必测点时，σ 值恢复为最大值，可保证进一步搜索时信息素浓度大，提高搜索效率。此时，新的信息素更新为

$$\tau_{ij}(t)\leftarrow\left(1-\left(1-\frac{1}{p+1}\right)\rho\right)\tau_{ij}(t)+\left(1-\frac{1}{p+1}\right)\rho\Delta\tau_{ij}(t)。\tag{7}$$

新的信息素更新规则将网络规模与测试链路上信息素浓度建立联系，随着搜索次数的增加，链路上信息素浓度更新幅度减小，能有效防止搜索后期测试链路信息素浓度过度增强导致陷入局部最优。并且，在搜索到必测节点时释放了禁忌表，接下来的搜索可看作是再次搜索的初始阶段，较大的 ρ 值可以帮助蚂蚁起始时进行测试链路的起始寻优。

2.2.3　ρ 自适应调节

信息素挥发系数 ρ 的大小直接影响了搜索过程中测试链路的选择，对算法的收敛速率也有很大影响。为了避免算法易于陷入局部最优解，适当对系数 ρ 进行自适应的改变，可以提高解的全局性，同时不影响算法收敛速率。因此，当算法在指定的循环次数中未获得更优结果时，对系数 ρ 适当改进：

$$\rho(t+1)=\begin{cases}\lambda\rho(t),\ \lambda\rho(t)>\rho_{\min};\\ \rho_{\min},\ 否则。\end{cases}\tag{8}$$

其中：λ 为调节因子，$\lambda\in(0,1)$；$\rho_{\min}$ 为系数 ρ 的最小值，可以根据实际需要进行相应的取值。需要注意的是，应该考虑防止 ρ 的取值过小影响算法的收敛速率，确保算法的整体性能。

2.3　改进 ACO 算法的必测点最优测试链路计算步骤

根据 RSNs 特性设计的必测点最优测试链路流程主要由加载数据、起终点以及必测点设定、算法进行链路寻优组成，具体的运行步骤为：

1)加载数据 RSNs 结构中的节点数据，设立最优测试链路的起点、终点和必测点集；

2)算法参数初始化。确定蚁群规模 m，初始化启发因子 α 和 β、信息素挥发系数 ρ、信息强度 Q、最大迭代次数 N 以及启发函数元素 η_{ij} 和 τ_{ij}；

3)将蚂蚁随机分布在节点上,设定禁忌表,将蚂蚁的出发点加入禁忌表中;

4)蚂蚁根据概率转移式(1)选择下一节点,下一节点的搜索范围为当前节点的相邻节点且不在禁忌表中,并将此节点加入禁忌表;

5)判定选择的点是否为必测节点,若是必测节点,则清空禁忌表,转到步骤 3);若不是必测点,则跳转判定是不是终点,若不是终点,跳转到步骤 4);若是终点,更新最优测试链路。更新最优链路的规则为比较该链路与历史全局最优链路,若该链路短于历史全局最优链路,则用该链路代替历史全局最优链路;

6)判定当前在搜索的蚂蚁数量是否为初始化时设定的数量 m,若不是,则自增 1 后跳转到步骤 3),若是,则转到步骤 7);

7)利用式(7)对链路信息素进行更新,同时,判定在固定循环次数内的求解结果,若无明确改变,则根据式(8)自适应更改信息素挥发系数;

8)对搜索结束条件进行判断,若不满足,则跳转到搜索步骤继续搜索,若满足,则输出最优测试链路。

3　实例验证分析

为了方便对提出的算法进行验证,对图 2 所示的 20 个节点的 RSNs 抽象网络结构进行实验。在算法运行的初始,各参数设置为:$\beta=1$,$\rho=0.8$,$Q=500$,$\rho_{\min}=0.3$,$m=10$。实验中,为分析所提算法对于求解必测点最优测试链路问题的适用性,将必测仪器挂载在不同层数进行实验,实验结果如表 2 所示。

表 2　必测仪器挂载在不同层次 SIB 下搜索结果

必测仪器挂载点	必测仪器	测试链路	链路长度
挂载在同层中	{TDR_1,TDR_5}	si→SIB_1→TDR_1→SIB_1→SIB_2→SIB_3→TDR_5→SIB_3→SIB_4→SIB_5→so	17
挂载在两层中	{TDR_2,TDR_5}	si→SIB_1→SIB_2→SIB_6→TDR_2→SIB_6→SIB_7→SIB_2→SIB_3→TDR_5→SIB_3→SIB_4→SIB_5→so	24
挂载在三层中	{TDR_2,TDR_4,TDR_5}	si→SIB_1→SIB_2→SIB_6→TDR_2→SIB_6→SIB_7→SIB_8→SIB_9→TDR_4→SIB_9→SIB_7→SIB_2→SIB_3→TDR_5→SIB_3→SIB_4→SIB_5→so	37

从表 2 可看出,无论必测的仪器挂载在哪个层次的 SIB 下,所提算法都能够很好地搜索到必测点最优测试链路,证明了算法设计的有效性和可行性。为更有效地分析算法的可行性,对传统的 ACO 算法和所提算法进行多次测试计算时间,必测仪器都选取为 2 个,实验次数为 30 次。由于传统 ACO 算法未考虑环路问题,将设计的“活性”禁忌表规则应用于传统 ACO 算法中。对于嵌入式仪器来说,仪器可能会挂载在不同层次的 SIB 下,因此测试实验分为必测仪器只挂载在单层 SIB 下以及必测仪器同时挂载在 2 个层次的 SIB 下 2 种场景进行讨论,对上述搜索时间结果进行平均,计算算法搜索效率,所提算法比传统算法提升的搜索效率如图 4 所示。

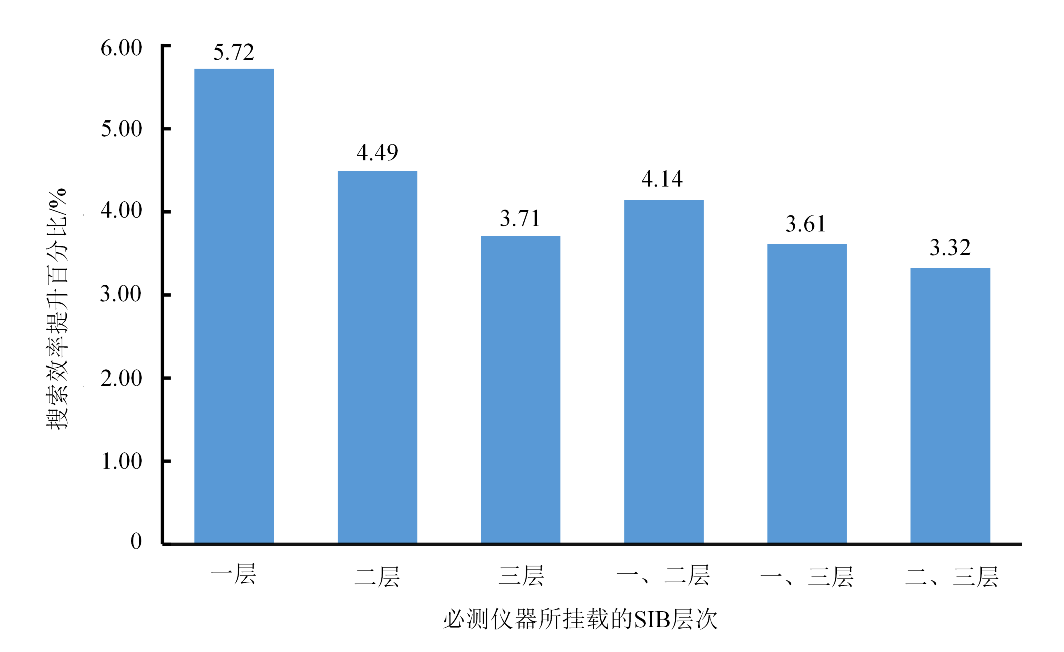


图 4　搜索优化时间提升百分比

通过图 4 可以发现,必测的嵌入式仪器挂载所在的 SIB 层次对最优测试链路的搜索效率有影响,仪器挂载的 SIB 层次越高,必测点最优测试链路的搜索效率略微降低。但从整体上分析,本算法搜索必测点最优测试链路的时间要优于传统算法,本算法提升了搜索效率。

4　结束语

针对 RSNs 中求解必测点最优测试链路时存在的问题,提出了一种基于 ACO 算法的必测点最优测试链路求解方法,并对传统 ACO 进行改进,提出“活性”禁忌表解决环路的求解问题,并引入信息素系数变化因子,将网络的节点规模与信息素浓度的更新结合,自适应地调整信息素的更新,并且在链路搜索过程中动态调节信息素挥发系数,解决算法陷入局部最优解的问题。仿真实验结果表明,本算法能够很好地求解 RSNs 结构下的必测点最优测试链路问题,而且搜索时间减少,在运用于芯片测试领域求解最优测试链路快速实现对嵌入式仪器的测试应用中具有重要意义。但本研究还存在不足,如算法参数初始化选择依靠前人研究经验,信息素更新策略上存在不足等问题,需要进一步研究。

参考文献:

[1] 刘军,王亭亭,任福继. 面向可重构扫描网络的锁定隔离安全结构[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2021,33(3):356-362.

[2] 谭衢霖,李然,董晓峰,等. 基于 GIS 空间分析建模的区间线路走向自动生成方法[J]. 北京交通大学学报,2019,43(4):122-130.

[3] 黄书力,胡大裟,蒋玉明. 经过指定的中间节点集的最短路径算法[J]. 计算机工程与应用,2015,51(11):41-46.

[4] 王小会,薛延刚,李晓青. 基于 Dijkstra 算法过必经点的最短路径设计[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版),2020,36(3):68-73.

[5] 康文雄,许耀钊. 节点约束型最短路径的分层 Dijkstra 算法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2017,45(1):66-73.

[6] 方文婷,艾时钟,王晴,等. 基于混合蚁群算法的冷链物流配送路径优化研究[J]. 中国管理科学,2019,27(11):107-115.

[7] 曹祥红,李欣妍,魏晓鸽,等. 基于 Dijkstra-ACO 混合算法的应急疏散路径动态规划[J]. 电子与信息学报,2020,42(6):1502-1509.

[8] 吴兴邦,文尚胜,华珺. 基于蚁群算法的室内可见光高精度三维定位系统[J]. 光子学报,2017,46(12):181-194.

[9] THIEMANN B,FEITEN L,RAIOLA P,et al. On integrating lightweight encryption in reconfigurable scan networks[C]//2019 IEEE European Test Symposium. Piscataway,NJ:IEEE Press,2019:1-6.

[10] 张峥,朱炫颖. 复杂网络同步控制的研究进展[J]. 信息与控制,2017,46(1):103-112.

[11] DORIGO M,GANBARDELLA L M. Ant colony system:a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,1997,1(1):53-66.

[12] DORIGO M,MANIEZZO V,COLORNI A. Ant system:optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems,Man,and Cybernetics,Part B (Cybernetics),1996,26(1):29-41.

[13] 杨冠杰,张向利,张红梅. 基于包含属性优先级的参考节点行程规划方案[J]. 桂林电子科技大学学报,2018,38(2):112-116.

[14] 李亚欣,梁静,岳彩通,等. 基于适应度地形分析的进化计算研究综述[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2021,49(5):39-53.

[15] 陈颖杰,高茂庭. 基于信息素初始分配和动态更新的蚁群算法[J]. 计算机工程与应用,2022,58(2):95-101.

[16] 欧峤,贺筱媛,陶九阳. 协同目标分配问题研究综述[J]. 系统仿真学报,2019,31(11):2216-2227.

[17] 刘可,李可,宿磊,等. 基于蚁群算法与参数迁移的机器人三维路径规划方法[J]. 农业机械学报,2020,51(1):29-36.

[18] 易正俊,李勇霞,易校石. 自适应蚁群算法求解最短路径和 TSP 问题[J]. 计算机技术与发展,2016,26(12):1-5.

[19] 唐汇东,杨华昌,王浩然,等. 基于蚁群算法的 STP 系统测试序列优化生成[J]. 计算机工程与设计,2020,41(8):2259-2264.

[20] 张天瑞,吴宝库,周福强. 面向机器人全局路径规划的改进蚁群算法研究[J]. 计算机工程与应用,2022,58(1):282-291.

[21] İNAN T,BABA A F. Examining the performance of ant colony optimization on shortest path problem:(Aegean sea example)[C]//2018 Electric Electronics,Computer Science,Biomedical Engineerings' Meeting. Piscataway,NJ:IEEE Press,2018:1-5.

[22] 赵今越,马良,刘勇. 垃圾分类收运路径问题的新型混合蚁群算法求解[J]. 计算机应用研究,2021,38(5):1428-1433.

[23] 莫亚东,游晓明,刘升. 融合奖惩学习策略的动态分级蚁群算法[J]. 计算机科学与探索,2021,15(9):1703-1716.

[24] 窦浩铭,胡静,陈思光,等. 基于蚁群优化的 SDN 负载均衡算法研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2019,39(1):52-61.

编辑:梁王欢

第 43 卷 第 2 期
2023 年 4 月
桂林电子科技大学学报
Journal of Guilin University of Electronic Technology
Vol. 43，No. 2
Apr. 2023

基于 B/S 架构的期刊业务办公自动化研究

张所滨，徐周波

（桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院，广西 桂林 541004）

摘 要：随着期刊出版数字化的到来，采用在线期刊编审管理系统进行网上稿件的征集、投稿、分稿、编辑审稿、专家审稿、定稿、查询稿件处理结果、关键字和参考文献审核、组版设置、发排稿件、三级签发、排版校对、清样出片、数据统计、费用管理、年终索引等功能。实现期刊编审的流程化控制，提高期刊文章编审的可靠性、透明度。本文介绍了系统实现的过程，包括需求分析，系统设计，数据库设计、系统实现进行详细说明。系统运行正常，能够满足期刊业务办公的自动化需求。

关键词：在线期刊编审；在线审稿；流程化控制

中图分类号：TP393 **文献标志码**：A **文章编号**：1673-808X(2023)02-0152-06

Research on office automation of periodical business based on b/s architecture

ZHANG Suobin，XU Zhoubo

（School of Computer and Information Security，Guilin University of Electronic Technology，Guilin 541004，China）

Abstract：With the advent of Digital Journal publishing，online journal editing management system is used to collect，submit，distribute，edit，review，expert review，finalize，query the results of manuscript processing，keyword and reference review，layout settings，distribution and typesetting，three-level issuance，typesetting and proofreading，sample production，data statistics，cost management，year-end index and other functions. Realize the process control of journal editing and review，and improve the reliability and transparency of journal article editing and review. This paper introduces the process of system implementation，including requirement analysis，system design，database design，system implementation and system testing. The system has been put into use and the system is in normal use.

Key words：online journal editing；online manuscript review；process control

期刊传统的稿件管理方式通过邮寄和 E-mail 方式进行审稿，电子邮寄的方式投递时间长，操作时间长。同时，人工人邮件输入和发送会导致投递出错或者在审稿的过程中，稿件遗失。传统的期刊编辑系统只能运作在期刊内部，无法实现投稿人、审稿编辑、审稿专家、稿件发布等一体化的管理。

期刊对稿件处理的速度和质量会直接影响着期刊的质量和发展，通过信息技术能够帮助期刊编辑部进行协同化办公，提高期刊的审稿效率，提升投稿、编审的交流程度。目前，当前的信息化技术已经十分成熟，能够完成期刊编审信息化管理信息化建设。

1 需求分析

建立在线期刊编审管理系统后，投稿人可以在线写稿、预览、投递，并能在第一时间在系统中查询到用稿通知。主要功能如下：

1）编辑审稿

编辑人员也可以在系统进行分稿、拒稿、录用、退修、退稿、专家送审、催审等管理；稿件处理结果查询，关键字和参考文献审核。

2）专家审稿

审稿专家可以进行拒审、退稿、通过审核等工作；定稿会审稿提供录用、退修、退稿、拒审管理，提交相应的原因；

收稿日期：2018-12-20

基金项目：国家自然科学基金(61762027)

通信作者：徐周波(1975－)，女，教授，博士，研究方向为符号计算、智能规划、约束求解。E-mail：xzbl_ll@guet. edu. cn

引文格式：张所滨，徐周波. 基于 B/S 架构的期刊业务办公自动化研究[J]. 桂林电子科技大学学报，2023，43(2)：152-157.